

М.И. Фазлуллин, Г.И. Авдонин, Р.Н. Смирнова,
**К ПРОБЛЕМЕ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА**

Разработаны критерии оценки месторождений применительно к методу подземного выщелачивания хлорсодержащими растворителями и приведена последовательность проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию техники и технологии подземного выщелачивания золота.

Семинар № 17

Подземное выщелачивание (ПВ) металлов получило наибольшее развитие в мире в варианте скважинной системы отработки руд непосредственно на месте залегания. При ПВ подготовку, вскрытие и извлечение металлов осуществляют путем выщелачивания через скважины, пробуренные с поверхности. Подача выщелачивающего раствора производится в систему закачных скважин, затем раствор фильтруется через рудный массив, а продуктивные растворы через систему откачных скважин извлекаются на поверхность и транспортируются на установку переработки растворов.

При скважинном подземном выщелачивании важнейшим фактором является проницаемость продуктивного горизонта, которая может быть естественной или создаваться искусственно путем применения специальных методов (гидроразрыв, разрушение взрывом и др.). Кроме того, при ПВ важно наличие частичной или полной естественной обводненности руд, приуроченности рудной минерализации к порам и трещинам, обеспечивающим проницаемость руды и др.

Метод ПВ широко применяется в мире для добычи урана. В настоящее время в России в опытно-промыш-

ленном масштабе ведется и подземное выщелачивание золота.

Подземное выщелачивание металлов обладает рядом достоинств, которые весьма привлекательны при выборе способа разработки месторождений. К ним относятся:

- сохранение природного ландшафта (отсутствие выемок в виде карьеров, эфелей промывки песков);
- отсутствие прямого контакта работающих с горной породой в процессе эксплуатационных работ, что способствует снижению травматизма в производственных условиях;
- исключение из производственного цикла ряда технологических операций (добыча руды, ее транспортировка до обогатительной фабрики, дробление, измельчение, обогащение, гидрометаллургическая переработка концентратов);
- снижение капитальных затрат при строительстве рудника в 2-4 раза;
- снижение бортового содержания металлов, что увеличивает минерально-сырьевую базу предприятия;
- возможность организации попутного извлечения металлов с низкими исходными концентрациями.

Предприятие по разработке золото-содержащего объекта методом ПВ состоит из добычного комплекса, системы

транспортирования растворов, установки по переработке продуктивных растворов.

Добычной комплекс предназначен для подготовки и эксплуатации объекта посредством подачи в золотосодержащие интервалы объекта выщелачивающих растворов, перевода полезных компонентов в жидкую фазу и выдачи на поверхность продуктивных растворов.

Комплекс для разработки объектов включает в себя технологические скважины, средства подачи выщелачивающих и откачки продуктивных растворов из них.

Система транспортирования растворов является связующим звеном между добычным и технологическим комплексами и служит для разводки по скважинам выщелачивающих растворов, сбора и перекачки продуктивных растворов с участков выщелачивания на технологический узел.

В настоящее время основным реагентом в промышленном гидрометаллургическом процессе извлечения золота из руд является цианид натрия. Все возрастающие требования к охране окружающей среды, в особенности применительно к методу подземного выщелачивания, определяют актуальность поиска менее токсичных реагентов – растворителей золота. Такими растворителями могут быть растворы, содержащие активный хлор, как в форме свободного галогена, так и в форме гипохлоритов. Кроме того, применение цианирования эффективно исключительно для тонкодисперсного и доступного золота, что предполагает либо достаточно тонкое измельчение руды, либо цианиды используются при кучном выщелачивании дробленых коренных руд, содержащих доступное золото. Выщелачивание руд на месте залегания, то есть методом ПВ, исключает любую рудоподготовку и предъявляет высокие

экологические требования, поэтому применение цианидов при подземном выщелачивании практически исключается.

В случае отработки россыпных месторождений, содержащих крупное, труднорастворимое в цианидах золото, применение цианидов неэффективно и в технологическом аспекте. В связи с этим в качестве выщелачивающих агентов могут быть использованы хлор-, йод- и бромсодержащие реагенты, более безопасные в экологическом отношении по сравнению с цианидными реагентами.

Система хлоридного выщелачивания золотосодержащих материалов обычно состоит либо из насыщенной газообразным хлором воды, либо из кислоты (соляной или серной), соли (хлорид натрия) и окислителя (гипохлорит калия или натрия, перманганат калия, диоксид марганца). Активным началом при растворении золота является образующийся в процессе реакции в указанной системе элементарный хлор. В кислом гипохлоритном растворе хлорид является комплексообразователем, хлор и HOCl – окисляющими агентами.

Преимущества хлоридной системы выщелачивания золота состоят в следующем:

- высокая окислительная активность, более глубокая переработка золотосодержащих материалов, что обеспечивает более высокое извлечение золота;
- доступность реагентов и сравнительно низкая их стоимость;
- возможность получения реагентов на месте производства работ.

Недостатки:

- необходимость использования коррозионно-стойкой системы по всей технологической схеме;
- повышенный расход реагента на вмещающие породы;

- сложность переработки и утилизации растворов.

Анализ литературных данных по промышленному применению хлора в гидрометаллургии показывает, что хлорирование эффективно, если расход хлора не превышает 1-2 кг/г извлеченного золота и если время выщелачивания не выше 1-2 часов. Эти показатели заводской переработки руд связаны с высокой долей капитальных и эксплуатационных затрат. В случае применения метода ПВ капитальные затраты, как было отмечено выше, могут быть снижены в 2-4 раза, поэтому процесс подземного выщелачивания может быть экономически эффективным и при меньшем расходе хлора, при длительности отработки рудных залежей в несколько месяцев, а также при отработке бедных и балансовых руд из золотосодержащего материала существенно влияет пробность. Известно, что при содержании в золоте 30 % и более серебра, т.е. пробности 700 и менее, переход золота в хлорные растворы практически прекращается из-за образования вокруг золотины экрана из хлористого серебра.

Экологические аспекты применения хлора при ПВ золота имеют свои особенности. Несмотря на определенную токсичность активного хлора, высокая химическая активность предопределяет его повышенную неустойчивость и быстрое разложение до нетоксичного хлорид-иона при взаимодействии с золотосодержащим материалом и вмещающими породами.

Продуктивные горизонты объектов подземного выщелачивания золота могут содержать незначительное количество вредных примесей, выщелачивание которых хлорными растворами может привести к их накоплению в растворах в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации с точки зре-

ния охраны окружающей среды. Такими примесями могут быть ртуть, мышьяк, кадмий и цветные металлы. В этом случае необходимы дополнительные меры по их нейтрализации. Кроме того, такие примеси могут содержаться в естественных подземных водах. Поэтому перед началом работ по ПВ золота необходимо выполнить определенный объем анализов подземных вод, а в процессе выщелачивания вести систематический мониторинг качества растворов с определенной частотой производства анализов.

В йод-йодидной системе йод необходим как окислитель, йодид – как комплексообразователь, образующий с золотом прочный комплекс. Йод-йодидная система имеет ряд преимуществ, таких как низкая токсичность, высокая стабильность растворенных комплексов и более низкий окислительно-восстановительный потенциал по сравнению с другими нецианидными системами выщелачивания золота.

Ряд исследователей полагают, что процесс выщелачивания золота в йод-йодидной системе является одной из перспективных схем, альтернативных процессу цианирования.

Способность бромидов растворять золото известна давно. Широкое распространение цианидной технологии в начале XX века прервало все работы по исследованию бромидной системы для извлечения золота из золотосодержащих материалов. В связи с возросшим вниманием к охране окружающей среды и использованием повсеместно токсичного цианидного метода извлечения золота вновь на новом уровне рассматривается вопрос применения брома, как растворителя.

В январе 1987 г. корпорация «Грейт Лейкс Кемикал» получила патент США на процесс извлечения благородных металлов из исходных материалов с помо-

щью соединения брома, получившего наименование гидантион. При использовании только гидантиона или в комбинации с ионом бромида гидантионовые продукты могут окислять золото до растворимых солей. Эта система оказалась весьма эффективной для извлечения золота из золотосодержащих материалов.

Достоинствами йодидных и бромидных систем являются:

- высокая кинетика растворения золота, увеличение ее при осуществлении процесса в кислых средах;
- повышенная степень извлечения золота;
- нетоксичность растворов при используемых для выщелачивания концентрациях.

Недостатки:

- коррозионная активность при использовании кислых сред для выщелачивания;
- повышенный расход на вмещающие породы;
- высокая стоимость растворителя.

При использовании йодидного и бромидного способов необходима регенерация йода и брома. Это вызывает необходимость подбора недефицитных окислителей, что является непростой задачей. Тем не менее, использование йода и брома для подземного выщелачивания золота может оказаться весьма привлекательным в связи с возможностью их полной регенерации. При решении проблемы разработки технологии извлечения йода и брома из промышленных вод, перспектива их использования становится реальной.

Сопоставление хлор-хлоридного способа с другими галогенными системами показывает преимущества первого.

На основании результатов опытно-промышленных испытаний по ПВ золота на Гагарском месторождении, лите-

ратурных данных по гидрометаллургии золота и научно-исследовательского опыта авторов по технологическому опробованию золотосодержащих руд различных объектов разработаны критерии оценки месторождений применительно к методу подземного выщелачивания хлорсодержащими растворителями [1].

Под хлорсодержащими растворителями имеются в виду: хлорная вода, растворы гипохлоритов, хлоратов и других реагентов, содержащих активный хлор, с добавками (или без) хлоридов металлов. Какой из растворителей применяется, принципиального значения для данных критериев оценки не имеет. Критерии условно разделены по степени благоприятности на весьма благоприятные, благоприятные и неблагоприятные. Кроме того, перечислен ряд факторов, имеющих определенное влияние, как на экономическую, так и на принципиальную возможность применения метода ПВ. По уровню влияния все факторы условно обозначены как решающие, определяющие и второстепенные. Решающие факторы определяют принципиальную возможность применения метода ПВ. Определяющие факторы влияют на экономику, технику, технологию и экологию метода ПВ. Второстепенные факторы имеют подчиненное значение при решении экономических, технических и экологических задач. В связи с определенной условностью приведенных критериев и уровня влияния на них различных факторов, в каждом конкретном случае все критерии необходимо рассматривать только в комплексе с учетом экономических, технологических и экологических аспектов применения метода ПВ. Детально с критериями оценки месторождений применительно к методу подземного выщелачивания хлорсодержащими растворителями можно познакомиться в работе [1].

При выборе реагентов следует оценивать их эффективность, как в автономном, так и в смешанном вариантах. Критериями должны служить доступность реагента, эффективность извлечения золота, возможность регенерации и экологические последствия.

Для объектов, предполагаемых к разработке методом ПВ, необходимо выполнить следующие стадии исследований:

- лабораторные исследования;
- укрупненные лабораторные исследования;
- опытные работы на представительном участке месторождения;
- опытно-промышленные работы, которые постепенно переходят в планомерные эксплуатационные работы.

На стадии лабораторных исследований определяются минеральный, химический, гранулометрический составы пробы. Затем проводятся технологические исследования.

На первом этапе технологических исследований для ускорения опытов и экономии рудного материала выполняется серия опытов по статическому (агитационному) выщелачиванию изучаемой пробы. Такие опыты позволяют на небольшом объеме рудного материала установить близкий к оптимальному состав выщелачивающего раствора и установить максимально достигаемую степень извлечения металла из конкретной руды. Как правило, время, достаточное для достижения равновесных концентраций реагирующих веществ, не превышает 1 сут. Для контроля хода процесса из всех или части сосудов целесообразно отбирать пробы раствора объемом 5-10 мл через 2,4,8,24 и 48 ч и определять в них содержание золота. В конце опытов для всех растворов вычисляется извлечение металла из руды.

Характеристика расхода реагентов по данным статических опытов устанавли-

вается только ориентировочно. Тем не менее, для качественного контроля конечного содержания растворителей в растворах целесообразно выполнение этих опытов.

Результаты статического выщелачивания являются ориентиром для выбора растворителей и диапазона их концентраций, с которыми далее проводят испытания руд при фильтрационном режиме выщелачивания.

Сущность фильтрационного выщелачивания (2-й этап) заключается в фильтрации растворителя через пробу золотосодержащего материала, фиксации динамики выноса из него полезного компонента и выхода растворителя в фильтрующемся растворе, т.е. в получении так называемых «выходных кривых». На этом же этапе проводятся исследования по извлечению золота из растворов методами сорбции или осаждения.

С помощью лабораторных испытаний определяют следующие показатели геотехнологических свойств золотосодержащего материала:

- коэффициент фильтрации;
- степень извлечения металла из руды;
- отношение Ж:Т, необходимое для максимально возможного извлечения металла;
- характеристики затрат растворителя (в кг на 1 г извлеченного металла, в кг на 1 т отработываемой горнорудной массы),
- среднюю концентрацию металла в продуктивных растворах, мг/л,
- схему переработки растворов.

По результатам лабораторных исследований выдаются исходные данные для проекта опытного участка ПВ золота.

Одним из неперенных условий применимости метода подземного выщелачивания для отработки конкретного месторождения является наличие фильтрацион-

ных свойств продуктивного горизонта, определяющих его гидродинамику.

Гидрогеологические исследования направлены на обоснование исходных гидрогеологических данных для составления проекта промышленной разработки.

Главными задачами гидрогеологических исследований являются:

- установление возможности и условий фильтрации растворов по продуктивному горизонту;
- определение основных гидрогеологических параметров;
- изучение внутреннего строения продуктивного горизонта;
- обоснование дебитов и приемистостей технологических скважин;
- прогноз изменения гидрогеологических условий в процессе эксплуатационных работ;
- оценка взаимного влияния разработки месторождения и действующих водозаборов подземных вод, а также возможности загрязнения поверхностных и подземных вод.

В результате исследований должны быть изучены:

- литологический состав и мощность водовмещающих пород;
- глубина залегания водоносных горизонтов и уровни подземных вод;
- наличие и величина напора;
- положение месторождения в гидрогеологической структуре;
- направление и скорость естественного потока подземных вод;
- подстилающий и перекрывающий водоупоры;
- фильтрационные свойства пород продуктивного горизонта, проницаемость и водопроницаемость золотосодержащих и вмещающих пород, основные параметры смежных водоносных горизонтов;
- влияние на динамику подземных вод тектонических нарушений, качество и агрессивность подземных вод;

- наличие гидравлической связи с поверхностными и подземными водами выше- и нижележащих водоносных горизонтов, а также возможность загрязнения источников водоснабжения.

Детальность гидрогеологических работ зависит от стадии исследований. При поисково-оценочных работах по результатам бурения скважин и геофизических исследований осуществляется предварительное расчленение разреза по обводненности, выделяются водоносные и водоупорные горизонты. В пределах месторождения на каждый золотосодержащий горизонт проводится бурение одиночных гидрогеологических скважин (3-5 на каждый горизонт). Все скважины бурятся с отбором керна. Скважины обсаживаются трубами, фильтры устанавливаются на всю мощность горизонта. На скважинах проводится комплекс скважинных геофизических исследований: электрокаротаж, расходомерия, резистивиметрия, кавернометрия и термометрия. Из керна гидрогеологических скважин по всему золотосодержащему горизонту, из верхнего и нижнего водоупоров отбираются образцы (с ненарушенной и нарушенной структурой) всех литологических разностей пород для лабораторных исследований (определения гранулометрического состава, карбонатности, водно-физических свойств, включая коэффициент фильтрации).

По всем гидрогеологическим скважинам осуществляются откачки или наливки (нагнетания) по принятой в гидрогеологической практике методике с отбором проб на химический анализ для определения содержания основных макрокомпонентов: HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SiO_2 , а также Fe^{2+} , Fe^{3+} и токсичных микрокомпонентов, встречающихся в данном регионе. Оцениваются также общая минерализация подземных вод, их температура и pH.

Анализ всех полученных данных определяет целесообразность дальнейшего гидрогеологического изучения месторождения. Отрицательное решение принимается в случае безводности золотосодержащих горизонтов или их приуроченности к водоупорным породам. При наличии достаточной естественной проницаемости и обводненности золотосодержащих пород гидрогеологические исследования детализируются на наиболее перспективных участках, а одиночные откачки (наливы) заменяются опытами на кустах скважин, состоящих из одной центральной и двух лучей наблюдательных скважин, расположенных вдоль и вкрест золотосодержащих залежей. Лучи состоят обычно из двух, реже трех наблюдательных скважин, расположенных на расстоянии 10-30 метров. Откачки (наливы) осуществляются обычно при максимальном дебите при одном, реже при двух понижениях уровня до получения стационарного режима. Продолжительность одиночных откачек или наливов обычно 1-2 суток, кустовых — от 5 до 10 суток.

Одновременно налив-откачка выполняются обычно на участках ПВ с целью определения возможной производительности скважин в сбалансированном режиме в условиях оборота растворов. Продолжительность такого опыта колеблется от 8 часов до 3 суток.

Обработка результатов откачек проводится по общеизвестным методикам с построением графиков прослеживания изменения уровней во времени $S=f(\lg t)$ и по площади $S=f(\lg r)$, а также графиков комбинированного прослеживания по данным понижения и восстановления уровней.

Методика откачек и расчетов гидрогеологических параметров изложена в специальной литературе (в частности, «Справочное руководство гидрогеолога» под редакцией В.М. Максимова, М.-

Л., 1979 г.), а особенности гидрогеологических исследований применительно к подземному выщелачиванию наиболее полно освещены в «Справочнике по геотехнологии урана» (Энергоатомиздат, М., 1977).

По результатам исследований проводится гидрогеологическое районирование территории с целью выделения участков с близкими условиями отработки. При этом выбираются один или несколько природных факторов, имеющих наибольшую изменчивость и оказывающих заметное влияние на процесс ПВ (например, коэффициент фильтрации, водопроницаемость, напор и т.п.). Гидрогеологическое районирование позволяет выделить наиболее благоприятные участки для проведения опытно-промышленной отработки месторождений золота способом ПВ.

Сырьевая база для подземного выщелачивания золота в России практически является неизученной. Объекты, требующие изучения для выдвигания под отработку способом ПВ, для традиционных методов являются забалансовыми.

Существуют две группы объектов, перспективных для отработки методом скважинного ПВ: техногенные и природные.

К техногенным объектам относятся эфели переработки россыпных месторождений, в которых сосредоточены сотни миллионов тонн золотосодержащих песков, и хвостохранилища золотоизвлекательных фабрик с запасами от первых до десятков тонн золота.

К природным объектам относятся глубоко погребенные аллювиальные и аллювиально-пролювиальные россыпи с мелким и тонким золотом, которые существующими методами обрабатывать экономически нецелесообразно, и месторождения золота в корах химического выветривания с содержанием золота в руде от 1 до 3 г/т.

Большая часть месторождений в аллювиально-пролювиальных толщах с мелким и тонким золотом не разведана и не принята на баланс из-за больших глубин залегания и низкого извлечения золота из них традиционными методами. Применение способа ПВ позволит вовлечь эти объекты в отработку и существенно расширить минерально-сырьевую базу золота в России.

По оценкам специалистов в одном Ленском районе в дражных эфельных отвалах сосредоточено ~500 т золота с содержанием 0,5-1,0 г/м³.

В погребенных россыпях при их разведке опробование, как правило, осуществляется шлиховым методом. При этом тонкодисперсное золото в шлих не попадает. НА. Шило, изучая нижние горизонты погребенных россыпей долины реки Большой Куранах, сопоставил данные опробования продуктивных отложений шлиховым методом и пробирным анализом (763 пробы). По данным шлихового опробования среднее содержание золота составило 170 мг/м³, по данным пробирного анализа - более 800 мг/м³ [2]. Для технологии подземного выщелачивания неулавливаемое гравитационными методами золото является весьма подходящим материалом.

В последнее время на страницах печати появляются публикации, посвященные потерям золота при традиционном опробовании. Мнение о широком распространении мелкого (-0,25+1 мм) и тонкого (-0,1 мм) золота и значительных его потерях при первичном обогащении на традиционном оборудовании стало общепринятым. Ресурсы МТЗ только в техногенных россыпях РФ оцениваются в несколько тысяч тонн.

В работе [3] авторами (Амосовым Р.А., Башлыковой Т.В. и др.) в 2001г. проведено прямое сопоставление результатов традиционного (лоткового) и инст-

рументального опробования скважин ударно-канатного бурения на одном из участков россыпного месторождения золота. По результатам применения инструментального опробования произошли следующие изменения параметров месторождения:

- в подавляющей части заверенных интервалов значительно возросло содержание золота;
- мощность пласта увеличилась в 1,3-1,9 раза;
- существенно увеличился вертикальный запас золота по конкретным скважинам и снизился коэффициент вскрыши.

Увеличение мощности произошло в основном за счет вовлечения в пласт отложений, первоначально квалифицированных как торфа. В целом распределение золота в разрезе по данным инструментального опробования более однородное. Уже на стадии разведки россыпей, согласно действующим инструкциям из пробы удаляется галечный и эфельный материал, что приводит к полному удалению связанного золота. Дальнейшая промывка в лотках или бутарах, сопровождающаяся отмучиванием пробы, приводит к почти полному смыву мелких и тонких частиц золота.

В.М. Костантинов и Г.А. Пельмский [4] проанализировали публикации, посвященные тонкому золоту российских россыпных месторождений золота, и пришли к выводу, что в большинстве россыпей потери приближаются к 70 % и общие запасы золота в россыпях России остаются значительными.

Приведенные данные говорят о больших перспективах добычи золота методом подземного выщелачивания из забалансовых для современной технологии объектов.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по совершенствованию техники и технологии подземно-

го выщелачивания золота мож-но сгруппировать следующим образом:

- разработка и внедрение технических средств, повышающих производительность и снижающих стоимость бурения, улучшающих фильтрационные свойства прифильтровой зоны технологических скважин;

- изучение технологических условий месторождений золота, обрабатываемых способом ПВ;

- исследование химического взаимодействия реагентов с породами рудоносного горизонта, направленные на интенсификацию перевода золота в продуктивные растворы;

- совершенствование методов управления гидродинамикой и химической технологией процесса ПВ;

- совершенствование техники и технологии переработки продуктивных растворов;

- геоэкологические исследования.

Разработка и внедрение технических средств, повышающих производительность и снижающих стоимость бурения, улучшающих фильтрационные свойства прифильтровой зоны технологических скважин. Буровые установки для бурения технологических скважин должны обеспечивать прежде всего качественный отбор керношламового материала, высокие скорости бурения и диаметры скважин, способные давать максимально возможные дебиты откачных и приемистости закачных скважин.

На россыпных месторождениях для сооружения технологических скважин используются станки ударно-канатного бурения, позволяющие осуществлять отбор материала для опробования. В качестве базовой установки для бурения скважин вращательным способом может быть использован станок УБВ-00, выпускаемый Щигровским машиностроительным заводом. В процессе строительства полигонов

для работ по подземному выщелачиванию необходимо провести комплекс НИОКР по его адаптации для бурения технологических скважин.

При отработке технологических режимов сооружения скважин необходимо предусмотреть мероприятия по сохранению естественной проницаемости пород продуктивного горизонта. Соблюдение мер по сохранению проницаемости вскрываемых пород не всегда дает желаемые результаты. Поэтому необходимо предусмотреть использование и совершенствование существующих технических средств по раскольматации прифильтровых зон технологических скважин.

Изучение технологических условий месторождений золота, обрабатываемых способом ПВ. Под термином технологические условия месторождений понимается комплекс природных факторов, которые существенным образом влияют на ход и результаты подземного выщелачивания полезных компонентов. Конечная цель изучения геотехнологических условий – количественный прогноз основных эксплуатационных показателей процесса ПВ для месторождения или отдельных его частей.

Таковыми показателями являются:

- средняя концентрация металлов в продуктивных растворах;

- производительность по извлекаемому из недр металлу;

- затраты растворителя;

- длительность отработки эксплуатационного блока.

Оценку показателей осуществляют на основе изучения комплекса природных факторов, влияющих на ход процесса выщелачивания (минеральные формы полезных компонентов, литологические типы пород, слагающих разрез, геохимическая, гидрогеологическая обстановки и т. д.). Средствами изучения

геотехнологических условий являются буровые работы, изучение керна и его опробование, лабораторные исследования руд и пород, подземных вод и технологических растворов, геофизические работы и т. д.

Исследование химического взаимодействия реагентов с породами рудоносного горизонта, направленные на интенсификацию перевода золота в продуктивные растворы. На современном этапе ПВ золота в качестве реагентов рассматриваются хлор, йод- и бром-содержащие растворы. Если в качестве исходного сырья для приготовления растворов реагентов использовать конечные химически чистые продукты или их соли, то стоимость растворителей может оказаться экономически неприемлемой для предприятия ПВ. Поэтому необходимо изучить технологию изготовления хлора, йода и брома на химических заводах и подобрать экономически приемлемый для ПВ передел, который обеспечит получение реагентов необходимого качества и выдержит транспортные расходы по его доставке к месту производства работ.

Исследование влияния концентраций реагента в выщелачивающих растворах, подбор эффективных окислителей, влияющих на ускорение процесса выщелачивания, метода подачи их в пласт, выявление оптимального сочетания концентраций реагента и окислителя должны вестись постоянно на всех стадиях геологоразведочных и эксплуатационных работ.

Небольшой опыт применения хлора для ПВ золота показал, что при его выщелачивании из зерен крупностью >2 мм и порностью ~700 на поверхности золотин образуется хлористое серебро, блокирующее контакт реагента с материалом и препятствующее дальнейшему выщелачиванию золотин. Это явление

существенно препятствует развитию процесса ПВ на объектах с крупным золотом. Необходимо искать реагенты, подобрать технологию разрушения хлористого серебра и включить эту операцию в технологический регламент.

Источником получения йода и брома могут служить воды нефтяных месторождений, содержащие от 15-20 мг/л йода и более 300-400 мг/л брома. Доведение содержания йода и брома в продуктах переработки до количеств, приемлемых для технологии ПВ золота, может оказаться экономически эффективным.

Работы по настоящему направлению будут способствовать снижению затрат на химические реагенты.

Совершенствование методов управления гидродинамикой и химической технологией процесса ПВ. К этому направлению исследований относятся все работы по изучению фильтрационной неоднородности пород продуктивного горизонта, влияющей на гидродинамику фильтрационного потока, геотехнологическому картированию, моделированию гидродинамики технологических растворов, массопереносу в трехмерной области, дозированию подачи растворителей и окислителей в пласт.

Совершенствование техники и технологии переработки продуктивных растворов. Этим разделом предусматриваются исследования, учитывающие специфику хлоридного, йодидного и бромидного выщелачивания. При разработке оборудования, в первую очередь, надо уделить внимание специализации электролизеров для нужд золотодобывающей промышленности.

Геоэкологические исследования на объектах ПВ осуществляются на стадиях разведки, эксплуатации и ликвидации месторождений.

На стадии разведки изучаются природные геоэкологические условия ме-

сторождения, способствующие надежной изоляции технологических растворов в продуктивном горизонте, обеспечиваемой благоприятными сейсмическими, геоструктурными, литолого-фациальными, геохимическими, гидродинамическими и гидрогеохимическими природными факторами.

На стадии эксплуатации происходит техногенное изменение геологической среды в результате подачи в рудоносные горизонты технологических растворов кислот и солей.

Геоэкологические исследования на стадии эксплуатации преследуют следующие основные цели:

- изучение характера изменения геологической среды под влиянием техногенных процессов;
- изучение процессов формирования химического состава и физико-химических свойств загрязненных вод (остаточных технологических растворов);
- разработку системы надежного контроля распространения технологических растворов в гидрогеологической структуре в процессе ПВ.

Геоэкологические исследования на стадии ликвидации комплекса рудников ПВ проводят с целью решения трех основных задач:

- надежного контроля и прогнозирования распространения технологических растворов во внешнюю среду на основе мониторинга подземных вод;
- изучения продолжительности, механизма и глубины процессов самоочистки загрязненных вод на геохимических барьерах, возникающих под влиянием изолирующих геохимических свойств геологической среды;
- обоснования выбора способов восстановления природной геоэкологической обстановки, в том числе восстановления качества подземных вод.

В заключение можно сделать вывод о том, что перед геологами, технологами, машиностроителями и работниками золотодобывающей промышленности стоят весьма интересные проблемы, решение которых позволит расширить минерально-сырьевую базу предприятий и повысить эффективность добычи золота методом скважинного подземного выщелачивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фаздуллин М.И., Шаталов В.В., Гуров В.А., Авдонин Г.И., Смирнова Р.Н., Ступин В.И. Перспективы подземного скважинного выщелачивания золота в России. – Цветные металлы. 2002, № 10. – С. 39–46.
2. Шило Н.А. Учение о россыпях. – М.: изд. Академии горных наук, 2000. – 632 с.
3. Амосов Р.А., Башлыкова Т.В.,
4. Московец И.А. К оценке потерь мелкого и тонкого золота при лотковом опробовании россыпей. – Горный журнал. 2002, № 2.
5. Константинов В.М., Пельмский Г.А. Тонкое золото россыпей. – М.: Вести Московского университета, сер.3 «Геология», 2004, №4. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Фаздуллин М.И., Авдонин Г.И., Смирнова Р.Н. – ФГУП «ВНИИХТ»,

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 17 симпозиума «Неделя горняка-2008».
Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Ж. Аренс.